



اثر بازشوهای لبه دار در رفتار دیوارهای برشی فولادی

هادی ولیزاده¹ ، محمد رضا شیدائی² ، حسین شوکتی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه ارومیه، ارومیه

2- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

3- دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

پست الکترونیکی مولف رابط: h.showkati@mail.urmia.ac.ir

خلاصه

در سه دهه اخیر استفاده از دیوارهای برشی فولادی به علت عملکرد فوق العاده آنها به عنوان سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی زلزله و باد گسترش یافته است. در مواردی وجود بازشوها به دلایل معماری و یا عبور لوازم تاسیساتی در دیوار اجتناب ناپذیر می باشد. وجود بازشو باعث کاهش ظرفیت نهایی و نامطلوب شدن عملکرد این سیستم ها می گردد. در این مقاله به تاثیر سخت کننده های لبه بازشوها بر بهبود عملکرد و رفتار دیوارهای برشی فولادی پرداخته شده است. برای این منظور تحلیل غیر خطی توسط نرم افزار المان محدود ABAQUS انجام و رفتار غیر خطی هندسی و مصالح نمونه ها در نظر گرفته شده است. با توجه به پیچیدگی هندسی و رفتاری ورق فولادی هنگام کمانش خارج از صفحه و توسعه میدان کششی روشهای تحلیل ضمنی Implicit عملکردی ضعیف داشته و واگرایی نتایج را به همراه دارد بنابراین این روش تحلیل صریح Explicit در این تحقیق بهره گرفته شده است. نتایج تحقیق تاثیر بیشتر سخت کننده در مقاومت و سختی نمونه ها با ابعاد بزرگتر بازشو را نشان می دهد. به طوری که در بازشو D/d برابر با 1/3 افزایش بار نهایی با سخت کننده معادل فولاد بازشو 6.4 درصد می باشد.

کلید واژه ها: دیوار برشی فولادی، بازشو، سخت کننده، جذب انرژی، ظرفیت نهایی

مقدمه

دیوار برشی فولادی از دهه 1970 میلادی در ساختمانهای مختلف بویژه ساختمان های بلند بعنوان یک سیستم با عملکرد مناسب جهت مقابله با نیروهای جانبی شناخته شده است. دیوار برشی فولادی شامل ورق پرکننده فولادی می باشد که پیرامون آن را سیستم تیرها و ستون ها در بر گرفته است. این سیستم همانند یک تیر ورق فولادی که بصورت طره ای قرار گرفته شده و از پایه گیردار می باشد در نظر گرفته میشود که ستون ها نقش بال های تیروورق را ایفا می کنند در حالیکه تیرها به عنوان سخت کننده های جان عمل می کنند. سختی الاستیک بالا، شکل پذیری زیاد و رفتار هیستریزس پایدار در بار گذاری رفت و برگشتی از خصوصیات ای سیستم می باشد. همچنین استفاده از دیوارهای برشی فولادی سبب صرفه جوئی حدوداً 50 درصد در مصرف فولاد نسبت به سیستم قاب خمشی می گردد [2]. با توجه به جذب و اتلاف انرژی بالا کار برد این سیستم در مناطق لرزه خیز مطلوب و اقتصادی می باشد. مطالعات تجربی انجام شده توسط محققان مختلف تایید کننده موارد فوق می باشد. در بررسی مقایسه ای، سیستم SSW¹ نشان داده است که هزینه های کلی یک ساختمان با توجه به مواردی همچون ظرفیت جذب انرژی نسبتاً زیاد با رفتار هیستریزس پایدار، میدان کششی جان که شبیه به یک مهار قطری عمل می کند، سبک تر بودن وزن آن در مقایسه با قابهای بتن مسلح که پیامد آن کاهش بار مورد نظر روی ستونها و پی ها و در نتیجه کاهش نیروی لرزه ای است، همچنین ایجاد میدان بهتر جهت بازرسی و کیفیت بالاتر جهت کنترل، قابلیت افزایش فضا به ویژه در ساختمانهای بلند مرتبه بدلیل سطح مقطع کمتر در مقایسه با دیوارهای برشی بتن مسلح، نصب بسیار آسانتر و سریعتر در کاربردهای مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای و مواردی از این قبیل می تواند بطور اساسی کاهش یابد.

در گذشته طرح دیوارهای برشی فولادی به صورتی بود که به ورق جان اجازه کمانش داده نشود. ایده فوق بسیار محافظه کارانه بود در صورتی که ظرفیت فرا کمانشی سیستم فوق العاده بالا می باشد. روش های طراحی رایج برای استفاده از ظرفیت فرا کمانشی این سیستم ها بر اساس مطالعات تجربی

¹ Steel Shear Wall



wagner(1931) [1] قرار دارد. در ادامه مطالعات بر روی دیوارهای برشی فولادی اخیراً دیوارهای دارای بازشو مد نظر محققان قرار گرفته است. زیرا در مواردی وجود بازشوها به دلایل معماری و یا عبورسیستم های تاسیساتی در دیوار اجتناب ناپذیر می باشد. وجود باز شو باعث کاهش ظرفیت وسختی سیستم می گردد.

در سال 1973 Takahashi, [2] و همکاران یک سری از مطالعات آزمایشگاهی و المان محدود روی SSW با ورق نازک تقویت شده با آزمایشهای رفت و برگشتی شبه استاتیکی از 12 نمونه 1 و 2 طبقه را انجام دادند. تمام نمونه ها دارای سخت کننده های عمودی یا عمودی و افقی در یک یا دو طرف ورق فولادی به جزء نمونه اول بودند. اتصالات اعضای مرزی به صورت مفصلی در نظر گرفته شده بود. نتایج نشان داد که نمونه ها قادرند تغییر شکلهای بزرگی را تحمل کنند و رفتار بسیار پایدار و شکل پذیری از خود نشان دهند.

در سال 1991 Sabouri-ghomi و Roberts [3] در انگلستان آزمایشهای رفت و برگشتی شبه استاتیکی را روی 16 پانل نازک تقویت نشده در مقیاس کوچک جهت بررسی مشخصات بار- تغییر مکان انجام دادند. اتصالات قاب به صورت مفصلی و اتصال ورق به دیگر اعضاء با استفاده از پیچ انجام شده بود. بعضی از پانلهای دارای باز شو بودند. بارگذاری رفت و برگشتی در امتداد قطر جهت ایجاد برش خالص اعمال شد. تمام پانلهای شکل پذیری کافی از خود نشان دادند. همچنین محققین نتیجه گرفتند که مقاومت و سختی به طور خطی با افزایش در $(1-D/d)$ کاهش می یابد، که D قطر بازشو و d ارتفاع پانل می باشد. در سال 1997 Driver و همکاران [4] آزمایشهای رفت و برگشتی را روی یک نمونه چهار طبقه بدون سخت کننده انجام دادند. آنها یک مدل تحلیلی ارائه نمودند که در آن ورق فولادی با المان پوسته مدل سازی گردید و رفتار غیر خطی هندسی و مادی در نظر گرفته شده بود. محققان نتیجه گرفتند که سیستم دیوار برشی فولادی شکل پذیری بالایی دارد.

Kharrazi و همکاران [1] یک مدل تئوری که اندرکنش ورق- قاب اصلاح شده (M-PFI) نامیده شد جهت آنالیز برشی و خمشی دیوارهای با ورق فولادی شکل پذیر پیشنهاد نمودند. این مدل رفتار دیوارهای برشی فولادی را به سه بخش تقسیم می کرد: کمناش الاستیک، پس کمناش و تسلیم. نخست آنالیز برشی که رفتار ورق و قاب را بصورت جداگانه تحلیل و سپس روابط نیروی برشی در مقابل تغییر مکان پانل که با جمع رفتار برشی هر یک بدست می آمد انجام شد. سپس آنالیز خمشی با فرض اینکه ورق و قاب بصورت واحد عمل می کنند صورت گرفت. اندرکنش بین رفتار برشی و خمشی، به طور کامل رفتار سیستم SSW را تشریح می کرد. مدل فوق با نتایج آزمایشگاهی متعددی که بدست آمده سازگاری خوبی داشت.

روشهای تحلیلی سیستم دیوارهای برشی فولادی

1) روش نواری

2) روش PFI

3) روش M-PFI

در روش نواری که براساس تحقیقات انجام شده توسط کولاک و همکارانش می باشد پانلهای برشی به صورت یک سری اعضای نواری مورب مدل شده اند، که فقط قادر به تحمل نیروهای کششی می باشند. و در همان جهت تنشهای کششی اصلی در پانل قرار می گیرند. استفاده از مدل نواری فقط محدود به دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک می باشد همچنین در این مدل هیچ راه حلی برای دیوارهای برشی فولادی در حالتی دارای بازشو و یا سخت کننده ارائه نشده است.

برای از میان بردن این محدودیت ها صبوری و رابرتز (1991-1992)، رابرتز و صبوری (1991)، صبوری (2002) یک روش کلی برای تحلیل و آنالیز دیوارهای برشی فولادی در حالت های مختلف با سخت کننده بدون سخت کننده با بازشو و بدون باز شو با ورق نازک و ضخیم ارائه دادند. این روش رفتار ورق و قاب را به صورت مجزا بررسی کرده و اندرکنش این دو المان را با هم در نظر میگیرد. این مدل ارائه شده به نام مدل اندر کنش ورق و قاب (PFI) خوانده می شود.

روش PFI در تحلیل دیوارها تنها اثر نیروهای برشی را لحاظ می نمود. بنا بر این kharrazi [1] در سال 2005 با در نظر گرفتن اثر لنگرهای واژگونی روی پاسخ SSW روش فوق را اصلاح و M-PFI نامید.

مدل المان محدود

مدل عددی تمام نمونه ها شامل قاب با ورق فولادی میانی با استفاده از برنامه المان محدود غیر خطی ABAQUS تحلیل گردید. این نرم افزار قادر به حل مسائل مهندسی با درجات غیر خطی بالا می باشد. در نرم افزار فوق دو روش جهت تحلیل سازه ها وجود دارد: در تحلیل ABAQUS/Standard [8] از یک روش ضمنی ولی در تحلیل ABAQUS/Explicit [9] از یک روش دینامیکی صریح غیر خطی استفاده می کند. تغییر شکل ناگهانی خارج از



صفحه ورق فولادی به علت توسعه میدان کشش سبب مشکلات همگرایی در آنالیز سیستمهای SSW می گردد. با توجه به عملکرد ضعیف روش FE² ضمنی³، روش صریح⁴ دینامیکی برای آنالیز SSW انتخاب گردید. پیش بینی رفتار مدل‌های مورد نظر بر اساس تحلیل استاتیکی غیر خطی (Pushover) شامل غیر خطی هندسی و مصالح صورت گرفته است. معیار سنجش تحلیل شبه استاتیکی با بررسی انرژی جنبشی سیستم کنترل می گردد که باید در طول تحلیل مقدار آن ناچیز باشد.

هر چند که اعضای مرزی را می توان با المان BEAM مدل کرد با این وجود در صورتیکه کمناش موضعی در آنها اتفاق افتد این مورد در تحلیل در نظر گرفته نخواهد شد برای در نظر گرفتن کمناش جانبی، ورق و اعضای مرزی با المان پوسته (S4r) که یک المان چهار گرهی دو انحنایی با انتگرال گیری کاهش یافته است مدل سازی شدند. هر گره از المان فوق 6 درجه آزادی یعنی 3 درجه انتقال و 3 درجه دوران دارد.

تمام مصالح به کار رفته در مدلها به صورت ایزوتروپیک با رفتار غیر الاستیک سخت شونده دو خطی می باشند. رفتار در کشش و فشار به صورت یکسان و سطح تسلیم فون-میزس به عنوان ضابطه تسلیم پذیرفته شد. تنش تسلیم ورق فولادی و اعضای مرزی به ترتیب برابر 250 و 350 مگاپاسکال و کرنش نهایی آنها به ترتیب برابر 0/00625 و 0/00875 می باشد. مقدار مدول الاستیسیته 200 گیگاپاسکال، مدول مماسی 2 گیگاپاسکال و ضریب پواسون برابر 0/3 می باشد.

تمام مدلها با اعمال تغییر مکان جانبی در گره های اتصال تیر به ستون بارگذاری شدند. برای مشاهده رفتار کامل نمونه ها تغییر مکان اعمال شده بیشتر از حد تغییر مکان هدف در آئین نامه FEMA (0.02d) در نظر گرفته شد. تحلیل استاتیکی غیر خطی (Pushover) از نمونه ها با استفاده از روش المان محدود Explicit صورت گرفت. اتصال ورق به اعضای مرزی و اتصال تیر به ستون بصورت گیردار در نظر گرفته شد. برای مدل کردن اتصال ستون به کف ستون جابجایی گره های پایین هر دو ستون در تمام جهات مقید شد. برای مدل کردن تغییر شکل خارج از صفحه مقید شده توسط دال سقف در ساختمانها، از تغییر شکل خارج از صفحه جان تیر در نمونه ها جلوگیری گردید.

مشخصات نمونه ها

جدول 1 مشخصات هندسی پانل ها و سخت کننده ها را نشان می دهد. نمونه مورد نظر با استفاده از روش M-PFI (1) طوری انتخاب شد که قبل از کمناش یا تشکیل مفصل پلاستیک در ستون، ورق فولادی کاملاً تسلیم گردد. عرض و ارتفاع پانل ها به ترتیب فواصل مرکز به مرکز ستون و مرکز به مرکز تیر واقع در اطراف پانل می باشد. ابعاد انتخاب شده برای پانل ها مشابه ابعاد قاب در هسته مقاوم داخلی یک ساختمان مسکونی در نظر گرفته شد [1]. مقاطع در نظر گرفته شده برای ستونها و تیر ها بترتیب از W14X48 و W14X34 می باشد. شکل بازشو بصورت دایره ای در مرکز پانل و با نسبتهای D/d برابر با 1/5، 1/4، 1/3 در نظر گرفته شد. (D قطر بازشو و d فاصله مرکز به مرکز تیر ها می باشد). وزن سخت کننده اطراف بازشو معادل وزن فولاد حذف شده توسط بازشو در نظر گرفته شد. ممان اینرسی سخت کننده ها طوری انتخاب شدند که قبل از تسلیم شدن، کمناش در آنها اتفاق نیفتد به عبارت دیگر سخت کننده های مورد نظر از نوع صلب انتخاب شدند. با توجه به رفتار مشابه دیوار های برشی فولادی با تیرورقها، ضوابط AISC-ASD مربوط به تیرورقهای تقویت شده برای سخت کننده ها اعمال گردید. مطابق ضوابط AISC جهت جلوگیری از کمناش موضعی رابطه زیر باید صادق باشند:

$$w/t \leq 797 / \sqrt{f_y}$$

که در آن W عرض سخت کننده در هر طرف ورق و t ضخامت سخت کننده می باشد.

جدول 1: مشخصات هندسی پانل و وزن سخت کننده ها

وزن سخت کننده (Kg)	D(mm)	ضخامت ورق فولادی (mm)	ابعاد پانل (mm)		نوع پانل	مدل
			دهانه	ارتفاع		
0	0	0.75	2270	3000	بدون بازشو و سخت کننده	1
0	0	1.25	2270	3000	بدون بازشو و سخت کننده	2

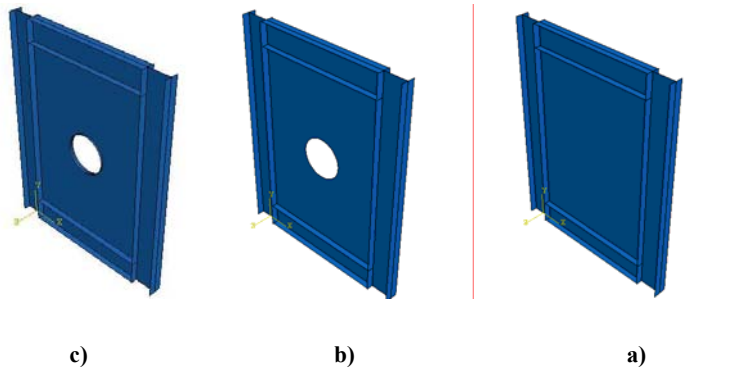
² Finite Element

³ Implicit Method

⁴ Explicit Method



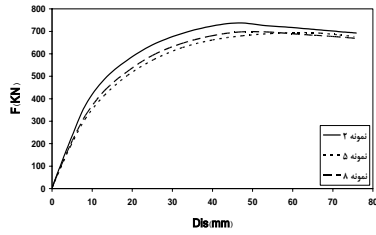
	0	1.75	2270	3000	بدون بازشو و سخت کننده	3
	600	0.75	2270	3000	با بازشو و بدون سخت کننده	4
	600	1.25	2270	3000	با بازشو و بدون سخت کننده	5
	600	1.75	2270	3000	با بازشو و بدون سخت کننده	6
1.6638	600	0.75	2270	3000	با بازشو و با سخت کننده	7
2.773	600	1.25	2270	3000	با بازشو و با سخت کننده	8
3.8822	600	1.75	2270	3000	با بازشو و با سخت کننده	9
	750	1.25	2270	3000	با بازشو و بدون سخت کننده	10
4.3328	750	1.25	2270	3000	با بازشو و با سخت کننده	11
	1000	1.25	2270	3000	با بازشو و بدون سخت کننده	12
7.7028	1000	1.25	2270	3000	با بازشو و با سخت کننده	13



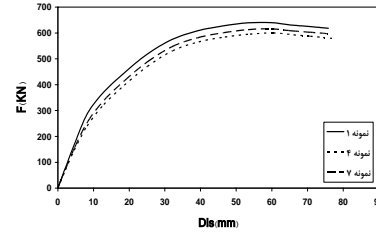
شکل 1- مدل المان محدود SSW: (a) بدون بازشو و سخت کننده (b) با بازشو و بدون سخت کننده (c) با بازشو و سخت کننده

بحث و بررسی نتایج

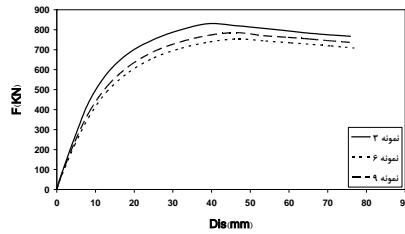
شکل 2 نمودار بار-تغییر مکان نمونه های 1 و 4 و 7 را نشان می دهد. بار نهایی برای حالت بدون بازشو 640 کیلو نیوتن برای حالت بابازشو 600 کیلو نیوتن و در حالت با بازشو و سخت کننده معادل وزن سوراخ 616 کیلو نیوتن می باشد. تاثیر سخت کننده در افزایش بار نهایی برابر 2.6 در صد می باشد. شکل 3 نمودار بار-تغییر مکان نمونه های 2 و 5 و 8 را نشان می دهد. بار نهایی برای حالت بدون بازشو 738 کیلو نیوتن برای حالت بابازشو 695 کیلو نیوتن و در حالت با بازشو و سخت کننده معادل بازشو 698 کیلو نیوتن می باشد. تاثیر سخت کننده در این حالت برابر 0.43 در صد می باشد. شکل 4 نمودار بار-تغییر مکان نمونه های 3 و 6 و 9 را نشان می دهد. بار نهایی برای حالت بدون بازشو 830 کیلو نیوتن برای حالت بابازشو 754 کیلو نیوتن و در حالت با بازشو و سخت کننده معادل 772 کیلو نیوتن می باشد. تاثیر سخت کننده در این حالت برابر 2.4 در صد می باشد. در حالت بدون بازشو افزایش ضخامت ورق فولادی به میزان 0.5 میلیمتر افزایش 12 تا 15 درصدی بار نهایی را به همراه دارد. بررسی نمودار های 2 و 3 و 4 گرایش به رفتار ترد و کاهش شکل پذیری سیستم را با افزایش ضخامت ورق نشان میدهد.



شکل 3- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های 2 و 5 و 8

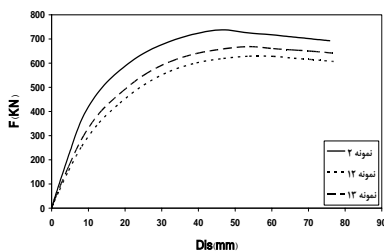


شکل 2- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های 1 و 4 و 7

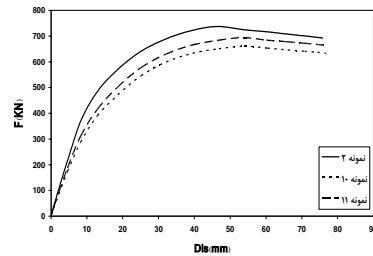


شکل 4- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های 3 و 6 و 9

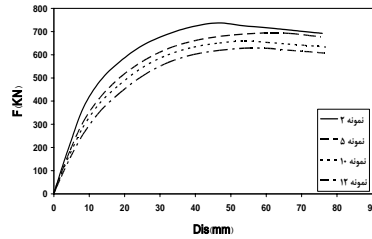
برای بررسی تاثیر سخت کننده بر رفتار دیوار با بازشو های بزرگتر در پانل با ورق فولادی به ضخامت 1.25 میلیمتر بازشو های به قطر 750 و 1000 میلیمتر نیز مدل می گردد. شکل 5 نمودار بار- تغییر مکان نمونه های 2 و 10 و 11 را نشان می دهد. بار نهایی برای حالت بدون بازشو 738 کیلو نیوتن برای حالت بابازشو 660 کیلو نیوتن و در حالت با بازشو و سخت کننده معادل 694 کیلو نیوتن می باشد. تاثیر سخت کننده در این حالت برابر 5.2 درصد می باشد. شکل 6 نمودار بار- تغییر مکان نمونه های 2 و 12 و 13 را نشان می دهد. بار نهایی برای حالت بدون بازشو 738 کیلو نیوتن برای حالت بابازشو 628 کیلو نیوتن و در حالت با بازشو و سخت کننده معادل 668 کیلو نیوتن می باشد. تاثیر سخت کننده در این حالت برابر 6.4 درصد می باشد. در شکل 7 نمودار بار- تغییر مکان نمونه های 2 و 5 و 10 و 12 نشان داده شده است. بار نهایی برای حالت بدون بازشو برابر 738 کیلو نیوتن برای حالت بابازشو به قطر 600 میلیمتر حدود 695 کیلو نیوتن، در حالت با بازشو به قطر 750 میلیمتر 660 کیلو نیوتن و در حالت با بازشو به قطر 1000 میلیمتر 628 کیلو نیوتن می باشد. بنابراین بازشو به قطرهای 600 و 750 و 1000 میلیمتر به ترتیب موجب 6.2 و 10.3 و 17.5 درصد کاهش در بار نهایی سیستم می گردد.



شکل 6- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های 2 و 12 و 13

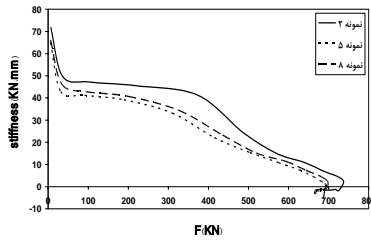


شکل 5- نمودار بار- تغییر مکان نمونه های 2 و 10 و 11

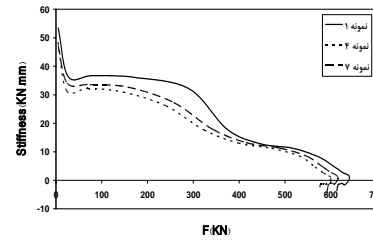


شکل 7- نمودار بار- تغییرمکان نمونه های 2 و 5 و 10 و 12

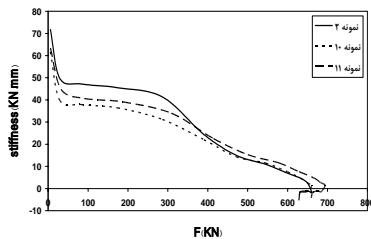
اشکال 8 و 9 و 10 بترتیب نمودارهای سختی- بار نمونه های 1 و 4 و 7 ، 2 و 5 و 8 ، 3 و 6 و 9 را نشان میدهد. وجود بازشو سختی اولیه سیستم را در حدود 10 درصد کاهش می دهد. اگر چه وجود سخت کننده تاثیری در سختی اولیه سیستم ندارد ولی پس از کمناش ورق و تشکیل میدان کشش موجب افزایش سختی سیستم می گردد . همچنین کاهش سختی نمونه ها با افزایش ضخامت ورق میانی پانل یکنواخت تر صورت می گیرد. اشکال 11 و 12 و 13 بترتیب نمودارهای سختی- بار نمونه های 2 و 10 و 11 ، 2 و 12 و 13 ، 2 و 5 و 10 و 12 را نشان میدهد. بازشو به قطر 750 و 1000 میلیمتر سختی اولیه سیستم را بترتیب به میزان 16 و 30 درصد کاهش میدهد . باافزایش قطر بازشو وجود سخت کننده موجب افزایش سختی اولیه سیستم می گردد بطوری که در شکل 12 وجود سخت کننده حدود 6 درصد سختی اولیه سیستم را افزایش می دهد. شکل 13 نیز کاهش سختی سیستم را با افزایش قطر بازشو نشان می دهد. شکل 14 تغییر شکل و توزیع تنش در نمونه های 1 و 4 و 7 را نشان می دهد.



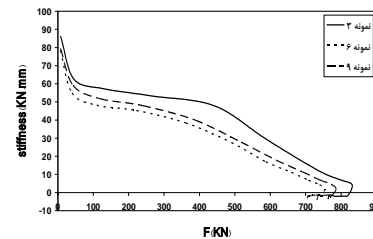
شکل 8- نمودار سختی- بار نمونه های 1 و 4 و 7



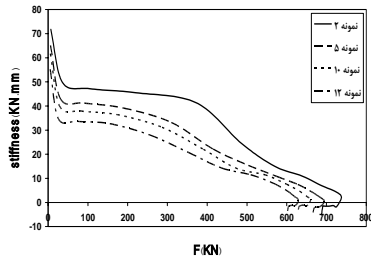
شکل 9- نمودار سختی- بار نمونه های 2 و 5 و 10



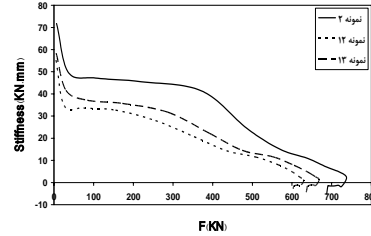
شکل 10- نمودار سختی- بار نمونه های 3 و 6 و 9



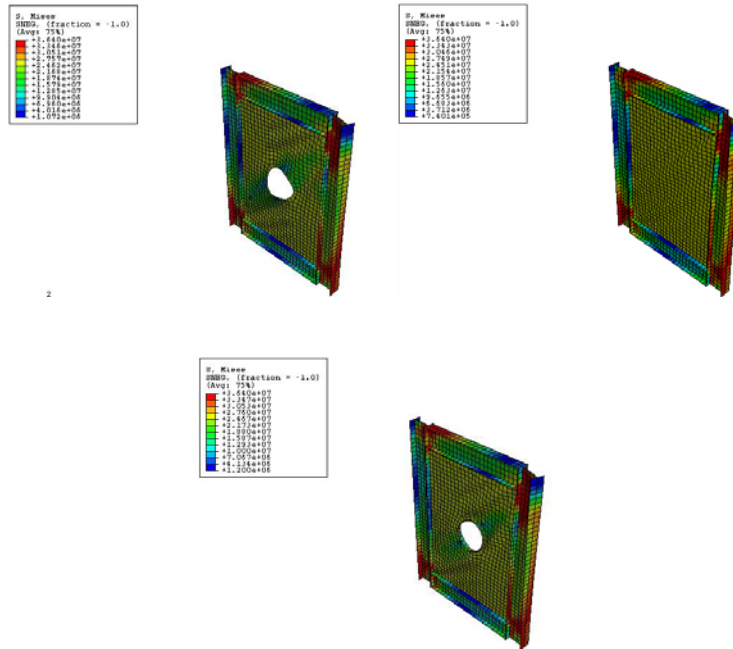
شکل 11- نمودار سختی- بار نمونه های 11 و 12



شکل 13- نمودار سختی- بار نمونه های 2 و 5 و 10 و 12



شکل 12- نمودار سختی- بار نمونه های 2 و 13



شکل 14: تغییر شکل و توزیع تنش پانلهای نمونه 1 و 4 و 7

نتیجه گیری

در این مقاله رفتار دیوار برشی فولادی در یک قاب یک طبقه و یک دهانه با استفاده از روش المان محدود بصورت غیر خطی هندسی و فیزیکی تحلیل گردید. در محدوده نمونه های بررسی شده در این تحقیق نتایج زیر قابل ارائه است:

1. در دیوار برشی بدون بازشو افزایش ضخامت ورق فولادی به میزان 0.5 میلیمتر افزایش 12 تا 15 درصدی بار نهایی را به همراه دارد.
2. بررسی نمودار های بدست آمده از این مقاله، گرایش به رفتار ترد و کاهش شکل پذیری سیستم را با افزایش ضخامت ورق نشان میدهد.
3. بازشو به قطرهای 600 و 750 و 1000 میلیمتر به ترتیب موجب 6.2 و 10.3 و 17.5 درصد کاهش در بار نهایی سیستم می گردد.
4. بازشو به قطر 600 و 750 و 1000 میلیمتر سختی اولیه سیستم را به ترتیب به میزان 10 و 16 و 30 درصد کاهش میدهد.
5. اگر چه وجود سخت کننده تأثیری در سختی اولیه سیستم ندارد ولی پس از کمانش ورق و تشکیل میدان کشش موجب افزایش سختی سیستم می گردد.



6. باافزایش قطر بازشو وجود سخت کننده موجب افزایش سختی اولیه سیستم می گردد.

مراجع

1. Kharrazi, M. H. K, 2005. Analytical Method for Analysis and Design of Steel Plate Walls, Report to Steel Structures Education Foundation (CISC), Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.
2. Takanashi Y, Takemoto T, Tagaki M. Experimental study on thin steel shear walls and particular bracing under alternative horizontal load Preliminary Report. In: IABSE. symp. on resistance and ultimate deformability of structures acted on by well-defined repeated loads. 1973.
3. Sabouri-Ghomi S, Roberts TM. Nonlinear dynamic analysis of steel plate shear walls including shear and bending deformations. Eng Struct 1992;14(5):309–17.
4. Driver, R.G., Kulak, G.L., Laurie Kennedy, D.G., and Elwi, A.E. 1998a. Cyclic test of four-story steel plate shear wall. J. Struct. Eng. 1242, 112–130.
5. Sabouri-ghomi S, Roberts TM. Nonlinear dynamic analysis of thin steel plate shear wall. 1991. Comput. Struct. 39(1/2), 121-127
6. Roberts T M , Sabouri-ghomi S . 1991. Hysteretic characteristics of unstiffened plate shear panel . Thin-Walled Struct , 12, 145-162
7. صبوری، سعید . سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی، مقدمه ای بر دیوارهای برشی فولادی . چاپ انگیزه ، پائیز 1380.
8. Hibbit, Karlsson, & Sorenson, Inc., (HKS), 2003a. ABAQUS/Standard Theory Manual. Version 6.4 , Hibbit, Karlsson , & Sorenson Inc., Pawtucket, Rhode Island.
9. Hibbit, Karlsson, & Sorenson, Inc., (HKS), 2003b. ABAQUS/Explicit User's Manual. Version 6.4 , Hibbit, Karlsson , & Sorenson Inc., Pawtucket, Rhode Island.